

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Nahkoda dan Saleh (2017), dalam perancangannya turbin angin sumbu vertikal telah memaparkan bahwa energi angin di Indonesia untuk saat ini masih tergolong rendah namun mempunyai potensi yang cukup besar. Yang menjadi penyebabnya ialah karena kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia tergolong kecepatan angin rendah, yaitu diantara 3 m/s hingga 5 m/s sehingga cukup sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Walaupun demikian, potensi anginnya yang ada hampir sepanjang tahun, sehingga memungkinkan untuk dikembangkan sistem pembangkit listrik skala kecil. Upaya yang dapat dilakukan salah satu ialah dengan melakukan kajian teknis pada mesin konversi energi dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan secara maksimal untuk menghasilkan energi listrik. Inovasi dalam memodifikasi kincir angin perlu dikembangkan agar dalam kondisi kecepatan angin yang rendah dapat memberikan hasil yang maksimal. Teknologi turbin angin terus dikembangkan agar bisa digunakan dalam kondisi kecepatan angin yang tidak konstan. Sehingga, dalam pengabdian kepada masyarakat ini akan didesain pembangkit listrik tenaga angin sumbu vertikal untuk penerangan rumah tangga berskala kecil di pesisir pantai Bajul Mati Desa Gagahrejo Kecamatan Gedangan Kabupaten Malang,

dengan harapan dapat bermanfaat pada masyarakat yang tinggal di daerah pesisir pantai yang tidak teraliri listrik dari PLN.

Chainary dan Sugiyanto (2017), dalam perancangannya turbin angin untuk penerangan di kapal nelayan. Kapal-kapal perikanan yang mempunyai ukuran sampai dengan 10 gross ton ialah kapal yang dipakai nelayan kecil. Kapal tipe ini biasanya belum dilengkapi alat penerangan yang memadai untuk mencari ikan saat di malam hari. Nelayan sampai saat ini hanya melihat potensi perikanan saja tanpa melihat potensi sumber energi yang ada di laut sangat banyak untuk mempermudah kerja para nelayan. Sumber energi tersebut salah satunya ialah energi angin di laut cukup melimpah potensinya untuk diubah menjadi sumber energi listrik dan digunakan untuk penerangan perahu nelayan. Turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius menjadi pilihan untuk mengubah energi angin di laut menjadi energi listrik untuk penerangan perahu nelayan karena memiliki banyak kelebihan apabila diterapkan pada perahu kecil daripada turbin angin sumbu horisontal, antara lain mudah dibuat, perawatannya mudah dan tiang yang tinggi tidak diperlukan. Bentuk turbin angin tipe Savonius yang digunakan ialah turbin yang mempunyai 2 sudu semicircular 180° dengan $s/d = 0,1 - 0,15$. Dengan memilih material yang tahan pada karat dan rigid namun ringan. Generator yang dipakai adalah variasi generator multi pole supaya mampu bekerja dalam putaran rendah maka mengurangi penggunaan transmisi yang berlebih. Sistem penyimpanan memakai mekanisme accu menyebabkan daya keluaran lebih stabil. Struktur sistem ini dibuatnya mudah, perawatan murah dan mampu mengubah energi angin menjadi sumber energi listrik untuk penerangan pada perahu nelayan. Tegangan output generator yang digunakan sebesar 70 -75 V pada putaran poros

800-1000 rpm. Diharapkan dengan adanya Potensi ini mampu membantu nelayan baik untuk sistem penerangan perahu ataupun sistem penerangan saat memancing ikan dan juga untuk sumber tenaga listrik alternatif pada kepentingan navigasi lainnya.

Amsor dan Iskandar R. (2016), sumber energi yang dominan digunakan saat ini masih banyak berasal dari energi fosil. Sumber energi fosil bersifat tak terbarukan menyebabkan lama kelamaan akan habis juga. Oleh karena itu, perlu menggunakan sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan serta mudah untuk didapat salah satunya ialah energi angin. Turbin angin adalah mesin pembangkit listrik dengan memakai tenaga angin untuk memutar poros turbin. Kota Padang mempunyai kecepatan angin cukup rendah sampai menengah. Maka turbin angin yang cocok yaitu jenis turbin savonius. Dari kecepatan angin yang rendah tersebut, sehingga dibuat dan diuji turbin angin yang mampu berputar saat angin kecepatan rendah adalah Turbin Angin Savonius. Pada penelitian ini dimulai dengan menentukan daya rencana 50 watt dan merangkai sebuah model Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) jenis savonius 2 tingkat sudu yang digunakan berjumlah 2 buah sudu yang berasal dari bahan Aluminium, dimensi masing-masing rotor berdiameter 50 cm dan tinggi setiap rotor 80 cm. Indikator penelitian yang diukur ialah kecepatan angin, kecepatan putar rotor dan daya output generator. Tempat pengujian di pantai Air Tawar Padang Sumatera Barat. Dari performa kerja turbin angin savonius dalam penelitian ini diperoleh pada putaran turbin maksimal sebesar 225,3 rpm, kecepatan angin maksimal ialah 5,9 m/s, mempunyai C_p tertinggi sebesar 2,4 % dan bisa membangkitkan

tegangan pada generator yaitu 4 volt dengan daya listrik tertinggi sebesar 2 watt serta mampu menangkap daya angin sebesar 160,2 watt.

2.2 Angin

Energi angin sudah lama diketahui dan digunakan manusia. Perahu-perahu layar memanfaatkan energi ini dalam melewati perairan sudah lama sekali dan dapat kita ketahui, pada dasarnya angin terjadi dikarenakan ada perubahan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di setiap wilayah kondisi suhu dan kecepatan angin berbeda-beda. Untuk mengurangi kekurangan penggunaan energi yang *non renewable* pada pembangkitan energi listrik khususnya sehingga diperlukan sumber energi alternatif lain sebagai penggantinya. Dalam proses mencari bentuk-bentuk sumber energi alternatif yang bersih dan terbarukan energi angin mendapat perhatian yang cukup besar.

Daryanto (2007), angin merupakan udara yang mengalir dari tekanan udara yang tinggi ke tekanan udara yang rendah. Penyebab perbedaan tekanan udara adalah pemanasan atmosfer yang tidak merata sinar matahari. Karena bergerak angin mempunyai energi kinetik. Energi angin bisa diubah atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik ataupun mekanik dengan memakai kincir atau turbin angin. Oleh sebab itu, turbin atau kincir angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

2.3 Kecepatan Angin

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa angin mengalir dari tekanan udara tinggi ke tekanan rendah, dalam kejadian tersebut terjadi proses perpindahan yang menghasilkan kecepatan angin. Kecepatan angin dapat ditulis dalam satuan meter per detik (m/d), kilometer per jam (km/j), dan mil per jam

(mi/j). Satuan mil (mil laut) per jam disebut juga knot (kn); $1 \text{ kn} = 1,85 \text{ km/j} = 1,15 \text{ mi/j} = 0,514 \text{ m/d}$ atau $1 \text{ m/d} = 2,237 \text{ mi/j} = 1,944 \text{ kn}$. Kecepatan angin yang bermacam-macam dengan ketinggian dari permukaan tanah, maka dikenal adanya profil angin, yaitu semakin tinggi dari permukaan tanah maka aliran angin semakin cepat. Pengaruh kecepatan angin terhadap fenomena di laut maupun darat dapat dilihat pada Tabel (2.1) berikut.

Tabel 2.1 Skala *Beaufort*

Skala	Tingkatan	Kecepatan (knot)	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (km/jam)	Tanda-tanda di laut (L) dan di darat (D)
1	Tenang	<1	0-0,2	<1	(L) : Laut seperti kaca (D) : Tenang; asap mengepul vertikal
2	Teduh	1-3	0,3-1,5	1-5	(L) : Berombak kecil, tidak tampak berbuih (D) : Asap mengepul miring, tetapi alat anemometer tidak berputar

3	Sepoi Lemah	4-6	1,6-3,3	6-11	(L) : Berombak tetapi tidak terlihat pecah (D) : Terpaan angin terasa di muka, anemometer berputar perlahan
4	Sepoi Lembut	7-10	3,4-5,4	12-19	(L) : Berombak besar dan mulai ada pecah pecah (D) : Debu dan kertas dapat terbang; ranting pohon bergerak
5	Sepoi Sedang	11-21	8,0- 10,7	29-38	(L) : Gelombang sedang berbuih agak banyak (D) : Pohon-pohon kecil terlihat condong. Genangan air di tanah terlihat berombak kecil
6	Sepoi kuat	22-27	10,8-13,8	39-49	(L) : Gelombang besartampak berbuih tampak dimana-mana (D) : Batang pohon

					terlihat bergerak; suara berdesing dari kawat telpon dapat terdengar, Payung dapat terangkat
7	Angin ribut lemah	28-33	13,9-17,1	50-61	(L) : Gelombang besar tampak berbuih agak banyak (D) : Pohon-pohon bergerak, Berjalan terasa berat
8	Angin rebut	34-40	17,2-20,7	62-74	(L) : Gelombang tinggi sedang dan panjang; ujung pecah gelombang terlihat seperti hanyut (D) : Batang pohon dapat patah, sampai pohon tumbang
9	Angin ribut kuat	41-47	20,8-24,4	75-88	(L) : Gelombang tinggi padat, dan berderet sepanjang arah angin, ujung pecah gelombang dan berputar
10	Badai	48-55	24,5-28,5	89-102	(L) : Gelombang sangat tinggi dan panjang.

					Hampir semua permukaan laut terlihat putih karena pecah gelombang (D) : Kerusakan lebih besar; tetapi di darat jarang sekali
11	Badai amuk	56-63	28,5-32,6	103-117	(L) : Gelombang luar biasa tinggi. Kapal kecil sampai sedang terombang-ambing dan terlihat timbul-tenggelam di belakang gelombang (D) : Kerusakan berat; tetapi sangat jarang terjadi di darat
12	Topan	>60	>32,6	>117	(L) : Gelombang luar biasa besar. Udara terlihat gelap oleh adanya pecah-pecah gelombang (D) : Hampir tidak

					pernah terjadi
--	--	--	--	--	----------------

(Sumber: BMKG, 2011)

2.4 Kerugian Yang di Timbulkan Angin

Daryanto (2007), menyebutkan dalam bukunya Kerugian yang di akibatkan pergerakan angin ialah:

1. Gesekan Angin

Terjadinya pembalikan arah angin sehingga mengakibatkan kerusakan *blade* turbin. Untuk meminimalisir hal ini desain penampang *blade* dan *blade* serang harus tepat.

2. Angin Ribut dan Hujan Lebat

Angin ribut dan hujan lebat biasanya sering terjadi secara bersamaan. Hal ini yang dialami pada daerah tertentu dan kondisi cuaca yang selalu tidak menentu.

3. Tiupan Debu dan kotoran

Saat energi angin mengalir banyak mengandung unsur-unsur partikel yang ikut terbawa pada saat berhembus. Salah satu partikelnya ialah yang ringan, menyebabkan mudah sekali terbawa pada angin. Angin juga terkadang mengandung garam-garam yang akan merusak sudu atau *blade* karena sifatnya yang menyebabkan korosi. Tiupan angin yang mengandung banyak garam biasanya terletak pada daerah tepi pantai.

4. Turbulensi Angin

Turbulensi angin merupakan kerugian yang disebabkan oleh perubahan arah ataupun besarnya kecepatan secara tiba-tiba, maka mengakibatkan bentuk dan arah angin yang tidak beraturan. Hal ini bisa menyebabkan getaran serta putaran yang tidak stabil sehingga daya akan menurun.

2.5 Turbin Angin

Farel (2013), dalam penelitiannya bahwa pada dasarnya energi yang dikeluarkan angin belum bisa langsung dipergunakan sehingga dibutuhkan mesin yang dapat mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik dan dapat diteruskan menjadi energi listrik. Mesin ini dinamakan dengan turbin angin atau sering disebut dengan kincir angin. Pemanfaatan turbin angin sebagai alat pembangkit energi listrik dimulai pada akhir tahun 1890-an. Turbin angin ini khusus dirancang untuk pembangkit energi listrik dan dibangun di Denmark. Turbin angin ini menyuplai energi listrik untuk wilayah pedesaan. Pada tahun 1900 di buat turbin angin di Cleveland, Ohio yang pertama kalinya memakai gear box yang berfungsi untuk menaikkan putaran.

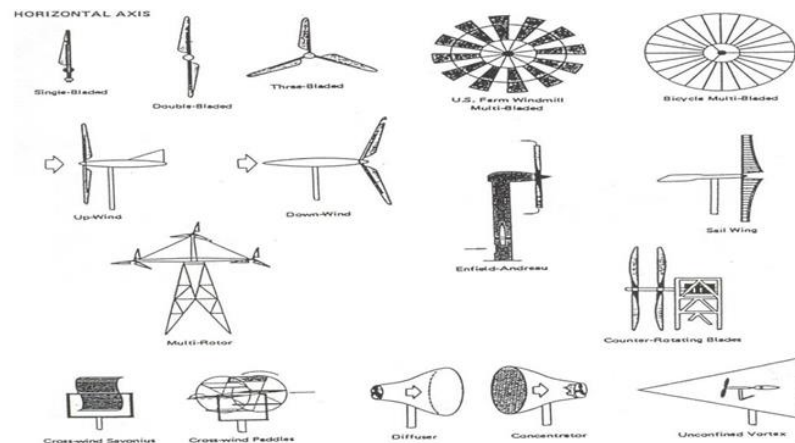
Turbin angin dapat di bedakan berdasarkan arah sumbu rotasi rotor yaitu :

1. Turbin angin sumbu horozontal(TASH)
2. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

2.5.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin jenis ini adalah jenis turbin angin yang paling banyak dipakai sekarang. Turbin ini terdiri atas sebuah menara yang di puncaknya mempunyai sebuah sudu yang berfungsi untuk rotor dan menghadap ataupun membelakangi

arah angin. Sebagian besar turbin angin jenis ini yang dibangun sekarang mempunyai dua atau tiga bilah sudu meskipun ada juga turbin bilah yang memakai sudu kurang atau lebih daripada yang disebut diatas. Contoh turbin angin sumbu horizontal ditunjukkan pada gambar (2.1) di bawah ini.



Gambar 2.1 turbin angin sumbu horizontal

(Sumber: Daryanto, 2007)

2.5.1.1 Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal

Kelebihan dari turbin angin sumbu horizontal adalah:

1. Dasar menara yang tinggi mempermudah akses ke angin yang lebih kuat di lokasi yang memiliki geseran angin, perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat pada atmosfer bumi. Di sejumlah tempat geseran angin, tiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

2.5.1.2 Kekurangan Turbin Angin Sumbu Horizontal

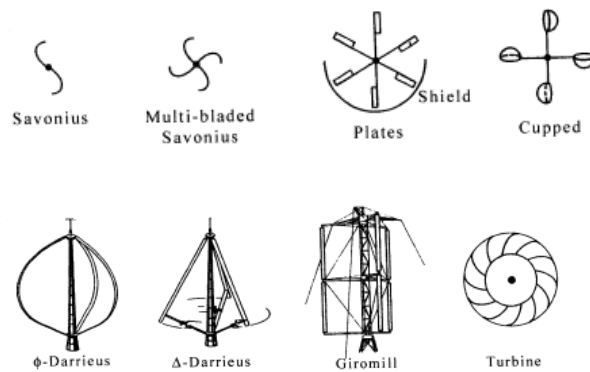
kekurangan Turbin Angin Sumbu Horizontal yaitu:

1. Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sehingga sulit diangkut. Biaya transportasi yang besar bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
2. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang ahli.
3. Konstruksi menara yang besar diperlukan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
4. Menara yang tinggi dapat mengganggu radar airport.
5. Dimensinya yang tinggi menutupi jangkauan pandangan dan merusak penampilan *landscape*.
6. Berbagai macam *down wind* mengalami kerusakan konstruksi yang diakibatkan oleh turbulensi.
7. TASH membutuhkan tambahan mekanisme kontrol *yaw* untuk membelokkan kincir ke arah angin.

2.5.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal memiliki prinsip kerja yang sama seperti halnya kelompok horizontal. Tetapi, *bladenya* berputar dalam bidang yang paralel pada tanah seperti mixer kocokan telur, Daryanto (2007).

Tedjo (1994), dalam penelitiannya ada tiga tipe turbin angin jenis ini, yaitu: Savonius, Darrieus, rotor H. Turbin Savonius menggunakan gaya hambat (drag), Turbin Darrieus dan Rotor H menggunakan gaya angkat (lift). Turbin angin sumbu vertikal dapat dilihat pada gambar (2.2).



Gambar 2.2 turbin angin sumbu vertikal

(Sumber: Mittal, Neeraj. 2001)

1. Turbin Darrieus

Turbin Darrieus adalah jenis turbin yang dikembangkan oleh seorang *aeronautical engineer* asal Prancis bernama Georges Marie Darrieus pada tahun 1931. Turbin Darrieus ini mempunyai kelebihan diantaranya tidak terlalu memperhitungkan arah aliran karena bentuknya yang simetris, tekanan gravitasi tidak cukup balik pada bentuk *bladenya*, sanggup bekerja pada *head* dan kecepatan rendah, sedangkan kelemahannya adalah tidak mampu melakukan *self-starting* dan getarannya yang tinggi

Prinsip kerja turbin Darrieus yaitu karena kecepatan aliran angin maka menyebabkan *blade* berputar dengan kecepatan putar tertentu, sehingga resultan dari kecepatan tersebut akan memperoleh gaya *hydrodinamis*. Gaya angkat (lift) di peroleh karena bentuk airfoil dari sudu turbin. Sudu ini memotong udara dengan sudut serang yang menyebabkan perbedaan tekanan. Output dari perbedaan tekanan inilah yang menyebabkan gaya angkat, dimana mendorong sudu bergerak ke depan. Untuk mendorong turbin, torsi yang dihasilkan oleh gaya angkat harus lebih besar daripada torsi yang dihasilkan gaya hambat (drag) maka

menghasilkan torsi netto. (Sudargana, 2012.), Turbin angin jenis Darrieus dapat di lihat pada gambar (2.3).



Gambar 2.3 turbin angin vertikal tipe darrieus

(sumber: <https://www.wind-turbine-models.com>)

2. Turbin Savonius

Turbin angin tipe savonius ini adalah turbin yang mempunyai bentuk sederhana pertama kali dibuat oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius, Turbin yang termasuk pada kategori VAWT ini mempunyai rotor dengan bentuk dasar 1/2 silinder, konsep turbin angin Savonius cukup sederhana berdasarkan *diffrential drag windmill* (Bayu 2013)

White (1986;42), turbin angin savonius merupakan jenis turbin angin yang memanfaatkan *drag*, dimana turbin ini membuat daya dengan memanfaatkan gaya *drag* yang dihasilkan di tiap-tiap *bladenya*. *Drag* adalah gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang membentur sudu. Turbin angin jenis savonius dapat di lihat pada gambar (2.4) di bawah ini.



Gambar 2.4 turbin angin vertikal tipe savoinus

(Sumber: <https://cleangreenenergyzone.com>)

2.5.2.1 Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal

Kelebihan Turbin angin sumbu vertikal ialah:

1. Struktur menara yang tidak besar.
2. Tidak membutuhkan mekanisme yaw.
3. Pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah, karena diletakkan lebih dekat ke tanah.
4. TASV memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan aerodinamis yang tinggi dan mengurangi *drag* pada tekanan yang rendah dan tinggi.
5. Memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.
6. TASV mempunyai kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Terkadang TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam.

7. TASV biasanya mempunyai TSR (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah menyebabkan lebih kecil kemungkinannya rusak saat angin berhembus sangat kencang.
8. TASV dapat dibangun pada tempat dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
9. TASV yang dibangun di dekat tanah dapat memperoleh keuntungan dari berbagai tempat yang menyalurkan angin serta meningkatkan percepatan angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit).
10. TASV tidak harus diubah letaknya jika arah angin berubah-ubah.
11. Turbin pada TASV mudah terlihat dan dihindari burung.

2.5.2.2 Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertikal

Kekurangan Turbin Angin Vertikal ialah:

1. Mayoritas TASV menghasilkan energi hanya sebesar 50% dari efisiensi TASH karena *drag* tambahan yang dipunyainya saat turbin berputar.
2. Tidak ada keuntungan pada TASV dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
3. Mayoritas TASV memiliki torsi awal yang rendah, dan memerlukan energi pada saat akan berputar.
4. Suatu TASV yang memakai kabel untuk menyanggahnya mengirim tekanan pada bantalan dasar sebab semua berat rotor diberikan pada bantalan. Kabel yang dihubungkan ke puncak bantalan menimbulkan daya dorong ke bawah saat angin bergerak.

2.6 Pemilihan Tempat

Kebanyakan lokasi yang baik untuk pemasangan turbin angin adalah:

1. Di antara celah gunung, tempat ini bisa berfungsi sebagai nozzle, yang mempercepat pergerakan angin.
2. Dataran terbuka, Karena tidak ada yang menghalangi atau menghambat pergerakan angin, dataran terbuka yang cukup luas mempunyai potensi energi angin yang besar.
3. Pesisir pantai, perbedaan suhu udara di laut dan di daratan menyebabkan angin bergerak secara konstan.

Meskipun pada dasarnya turbin angin bisa dipasang di mana saja di lokasi-lokasi tersebut di atas, pengkajian potensi angin tetap harus digaungkan untuk memperoleh suatu sistem konversi energi angin yang tepat dan mudah. Pengkajian potensi energi angin di suatu wilayah dilaksanakan dengan mengukur dan menganalisis kecepatan dan arah angin. Analisis data angin dilaksanakan dengan memakai metoda statistik dalam mencari kecepatan angin rata-rata, waktu kecepatan angin dan pembagian frekuensi data angin. Jika informasi tentang arah angin juga tersedia, analisis dengan memakai metoda *wind rose* dapat dilaksanakan untuk memperoleh kecepatan pada umumnya, frekwensi dan energi angin di setiap arah mata angin.

Pada kenyataannya, pemilihan lokasi pemasangan sistem konversi energi angin bisa ditentukan dengan metode:

1. Pilih Lokasi

Lokasi dipilih berdasarkan kebutuhan, selanjutnya potensi energi angin dikaji dari data yang diperoleh. Cara ini mempertimbangkan:

- a. aksesibilitas baik untuk pekerjaan konstruksi ataupun perawatan,
- b. kondisi sosial budaya setempat,
- c. kepentingan-kepentingan lain

2. Pilih Potensi

Penentuan lokasi sesuai besarnya potensi energi angin yang ada. Semakin besar kecepatan angin rata-rata di suatu lokasi akan semakin baik. Semakin tinggi potensi energi yang ada maka memberikan keuntungan yaitu ukuran sistem konversi energi angin yang semakin kecil dan tidak perlu terlalu efisien sehingga memudahkan pembuatannya.

2.7 Bagian-bagian Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal mempunyai komponen-komponen utama untuk berputar memperoleh energi listrik. Komponen-komponen tersebut meliputi:

2.7.1 Rotor

Rotor adalah komponen pertama pada turbin angin yang berputar setelah mendapat dorongan angin. Rotor terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut:

2.7.1.1 Sudu (*blade*)

Sudu(*blade*) ialah penampang dari rotor yang memiliki fungsi untuk menghambat pergerakan angin, dan meneruskan daya menuju poros dalam bentuk putaran. Bentuk sudu yang akan digunakan pada desain turbin vertikal adalah tipe *cup* seperti gambar (2.5) di bawah ini.



Gambar 2.5 Bentuk sudu tipe *cup*

(Sumber: <https://www.raig.com>)

2.7.1.2 Poros

Poros merupakan salah satu bagian penerus daya dan putaran dari rotor. Material poros harus kuat mampu menahan putaran dari rotor, material poros harus mampu menahan beban puntir dan lentur yang diakibatkan rotor ketika bekerja, pada gambar 2.6 di bawah ini (sularso, 1987).



Gambar 2.6 Bentuk poros

(Sumber: <http://id.lccylindertubinq.com/>)

2.7.2 Generator

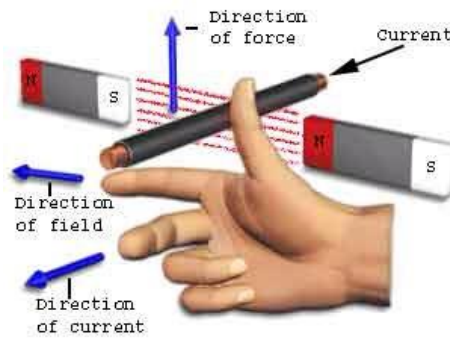
Generator yaitu sumber energi utama listrik yang digunakan saat ini dan merupakan converter terbesar di dunia. Pada dasarnya tegangan yang diakibatkan

generator bersifat bolak-balik, sedangkan generator yang membuat tegangan searah karena telah memperoleh tahapan penyearahan seperti pada gambar (2.7) di bawah ini.



Gambar 2.7 Generator

Generator merupakan mesin yang memanfaatkan magnet untuk mengkonversi energi mekanis menjadi energi listrik. Pada dasarnya generator bekerja secara sederhana bisa dikatakan bahwa tegangan terjadi pada konduktor ketika konduktor tersebut bergerak pada medan magnet menyebabkan pemotongan garis-garis gaya. Asas tangan kanan *Fleming* dipakai pada generator yaitu menyebutkan bahwa terdapat pada hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Dianalogikan ibu jari menyatakan arah gerakan penghantar, telunjuk menyatakan arah fluks, dan jari tengah menyatakan arah aliran elektron yang terinduksi.



Gambar 2.8 Kaidah tangan kanan *Fleming*

(Sumber: <http://artikel-teknologi.com/>)

2.7.3 *Charger Controller*

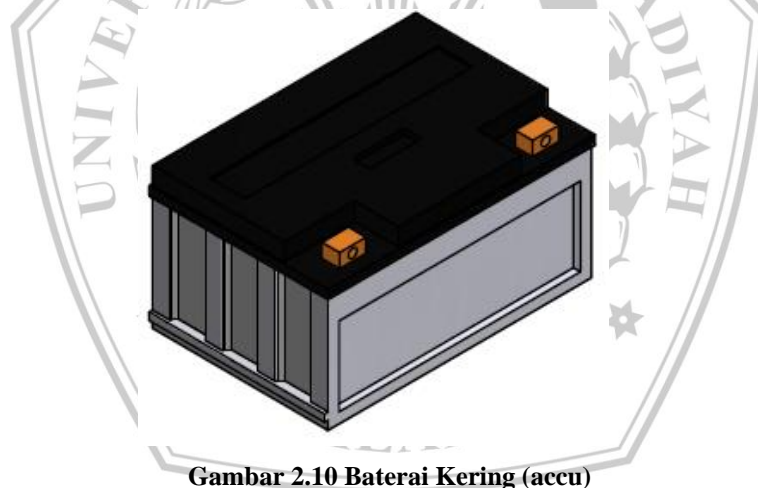
Charger controller merupakan suatu alat yang mempunyai fungsi untuk mengisi *battery* dalam arus yang stabil sampai memenuhi tegangan yang direncanakan. Apabila level tegangan yang direncanakan itu telah tercapai, maka arus pengisian selanjutnya akan turun secara otomatis ke level aman tepatnya yang telah direncanakan dan menahan arus pengisian sampai berjalan lebih lambat sehingga indikator menyala menandakan *battery* telah penuh terisi, seperti pada gambar (2.9) di bawah ini.



Gambar 2.9 *Charger Controller*

2.7.4 Penyimpanan Energi

Karenakan kurangnya ketersediaan pada energi angin (tidak sepanjang hari angin akan selalu ada) sehingga ketersediaan listrik pun tidak stabil. Maka, karena itu memakai alat penyimpan energi yang mempunyai fungsi sebagai back-up energi listrik. Saat beban penggunaan daya listrik masyarakat bertambah ataupun saat kecepatan angin suatu wilayah sedang berkurang, menyebabkan kebutuhan permintaan daya listrik tidak bisa terpenuhi. Sehingga kita perlu menyimpan sebagian energi yang diperoleh ketika berlangsung kelebihan daya ketika turbin angin berputar kencang ataupun ketika pemakaian daya masyarakat menurun. Penyimpanan energi ini diwadahi dengan menggunakan alat penyimpan energi berupa baterai, seperti pada gambar (2.10) di bawah ini.



Gambar 2.10 Baterai Kering (accu)

2.8 Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal

2.8.1 Perhitungan Luas Rotor

Hau (2005), rotor adalah komponen utama pada turbin angin karena pada rotor inilah sudu turbin dirangkai adapun tenaga total aliran angin yang bergerak ialah sama dengan percepatan energi kinetik pada aliran yang datang seperti terlihat pada rumus (2.1).

$$P_{\text{tot}} = 0,5 \rho A V^3 \quad (2.1)$$

Dimana : P_{tot} : tenaga total (Watt)

ρ : massa jenis angin

A : luas rotor turbin (m^2)

V : kecepatan aliran angin (m/s)

2.8.2 Penentuan Daya Baterai

Hasil dari energi turbin angin ini akan tersimpan pada baterai, dalam perancangan kali ini menentukan daya baterai memakai persamaan (2.2) yang di rumuskan oleh Hau (2005).

$$P_b = \frac{V}{I} \quad (2.2)$$

Dimana : P_b : daya baterai (Watt)

V : kecepatan angin (m/s)

I : arus (Ampere)

2.8.3 Daya yang di Hasilkan Generator

Hau (2005), untuk menentukan Daya Generator dengan menggunakan rumus seperti persamaan (2.3).

$$P_t = \eta_{\text{generator}} \cdot \eta_{\text{turbin}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (2.3)$$

Dimana : P_t : daya poros turbin (watt)

η_{turbin} : efesiensi turbin

$\eta_{\text{generator}}$: efesiensi turbin

p : massa jenis udara (kg/m³)

A : luas luaran lingkaran (m²)

V : kecepatan angin (m/s)

2.8.4 Daya Yang di Hasilkan Turbin

Hau (2005), untuk menentukan Daya Turbin dengan menggunakan persamaan (2.4).

$$P_t = \eta_{\text{turbin}} \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot A \cdot V^3 \quad (2.4)$$

Dimana :

P_t : daya poros turbin (watt)

η_{turbin} : efesiensi turbin

p : massa jenis udara (kg/m³)

2.8.5 Performace Coefesien Turbin

Koefesien daya merupakan perbandingan di antara daya luaran turbin pada daya total yang melalui penampang rotor di sebut koefesien daya C_p . Koefesien Daya (C_p) disebut juga sebagai keefektifan rotor turbin dalam menggunakan energi kinetik angin, maka untuk menghitung koefesien turbin memakai persamaan (2.5) yang di rumuskan oleh Hau (2005).

$$C_p = \frac{\frac{8}{27} p A V^3}{\frac{1}{2} p A V^3} \quad (2.5)$$

Dimana: C_p : koefesien daya

P : tenaga total (Watt)

ρ : massa jenis angin (kg/m³)

A : luas rotor turbin (m²)

V : kecepatan angin (m/s)

2.8.6 Tip Speed Ratio (TSR)

Hau (2005), tip speed ratio merupakan perbandingan kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin .untuk menghitung Tip speed ratio (TSR) menggunakan rumus (2.6).

$$\lambda = \frac{\omega r}{V} \quad (2.6)$$

Dimana

λ : tip speed ratio

ω : kecepatan sudut 2 π rad/sec

V : kecepatan angin (m/s)

r : jari-jari sudu (m)

2.8.7 Gaya Dorong

Untuk menghitung gaya dorong dengan memakai rumus (2.7) yang di rumuskan oleh Hau (2005).

$$F_d = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.7)$$

Dimana: F_d : kekuatan dorong (drag force) (Newton)

ρ : massa jenis angin (kg/m³)

A : luas penampang (m²)

V : kecepatan angin (m/s)

2.8.8 Kecepatan Linear Ujung Sudu (*Tip Velocity*)

Panjang lintasan suatu titik yang bergerak melingkar persatuan waktu, dengan memakai rumus (2.8) di bawah ini.

$$V_{\text{tip}} = \text{TSR} \cdot V_{\text{angin}} \quad (2.8)$$

Dimana,

V_{tip} : kecepatan linear ujung sudu (m/s)

TSR : Perbandingan kecepatan ujung sudu (tip speed ratio)

V : kecepatan angin (m/s)

2.8.9 Kecepatan Sudut (*Angular Velocity*)

Hau (2005), kecepatan sudut turbin angin sumbu vertikal tampak pada rumus (2.9) sebagai berikut :

$$\omega = \frac{v_t}{r} \quad (2.9)$$

Dimana : ω : kecepatan sudut (rad/s)

v_t : Kecepatan linear ujung sudu (m/s)

r : jari-jari sudu (m)

2.8.10 Tegangan Bending Pada Sudu (σ_b)

Achmad (Elemen Mesin 1 : hal. 15-17), struktur batang yang mendapatkan beban tegak lurus pada arah panjang umumnya akan terjadi tegangan bending, adapun persamaan terdapat pada (2.10) di bawah ini.

$$\sigma_b = \frac{Mb}{W_b} \quad (2.10)$$

Dimana,

M_b : Tegangan bending (kg.cm²)

W_b : Momen tahanan bending (cm²)

σ_b : Tegangan bending (kg/cm²)

2.8.11 Perhitungan Dimensi Poros Turbin

Pada poros turbin angin akan bekerja beban puntir dan beban lentur, p beban poros pada turbin angin sumbu vertikal ini bisa di hitung dengan memakai rumus (2.11) yang di rumuskan oleh Sularso (2004).

$$Pd = Fc \cdot P \quad (2.11)$$

Dimana :

- Pd : daya perencanaan
- Fc : faktor koreksi
- P : daya yang direncanakan

2.9 Metode Perancangan

Pada umumnya perancangan akan menggunakan metode perancangan yang disarankan oleh Pahl and Beitz. Metode ini dapat disimpulkan di gambar 2.11.

Ladjamudin (2005), Perancangan merupakan sebuah kegiatan yang mempunyai tujuan untuk mendesain skema baru yang mampu menyelesaikan masalah-masalah yang yang diperoleh dari pemilihan alternative skema yang terbaik. Saat merancang sebuah produk hendaknya menampung semua informasi dan persyaratan tentang produk yang akan dirancang secara spesifik. Maka dalam

perancangan akan dibuat suatu alur perancangan dengan detail. Adapun tahapannya sebagai berikut:

1. Perencanaan Proyek dan Penjelasan Tugas

Saat fase ini berfungsi untuk menyusun spesifikasi produk yang memiliki fungsi khusus dan karakteristik tertentu yang mencukupi keperluan masyarakat. Pada fase ini dikumpulkan banyak informasi dari semua persyaratan yang harus diterapkan oleh produk dan kendala-kendala yang menjadi batas untuk produk.

2. Perancangan Konsep Produk

Pada fase Konsep produk adalah penyelesaian dari masalah perancangan yang harus diselesaikan. Sebagian besar alternatif konsep produk bisa ditemukan. Konsep produk dapat berupa gambar skets ataupun gambar skema yang sederhana, namun telah memuat semua.

3. Perancangan Bentuk

Pada fase perancangan bentuk ini, konsep produk kemudian diberi bentuk, yaitu bagian-bagian konsep produk yang pada gambar skema atau gambar skets masih berbentuk garis atau batang saja kini harus dibuat bentuk sedemikian rupa sehingga bagian-bagian tersebut secara bersama menyusun bentuk produk.

4. Perancangan Detail

Dalam perancangan detail, sehingga susunan bagian produk, bentuk dan dimensi dari setiap bagian produk ditentukan. Hasil akhir fase ini ialah sebuah gambar rancangan yang lengkap dan spesifikasi produk yang siap dibuat.

5. Pembuatan

Pada fase ini penulis menjelaskan tentang tahapan keseluruhan pembuatan alat, yaitu dalam lingkup tahap pemotongan, tahap pengeleman, tahap pemasangan dan *finishing*.

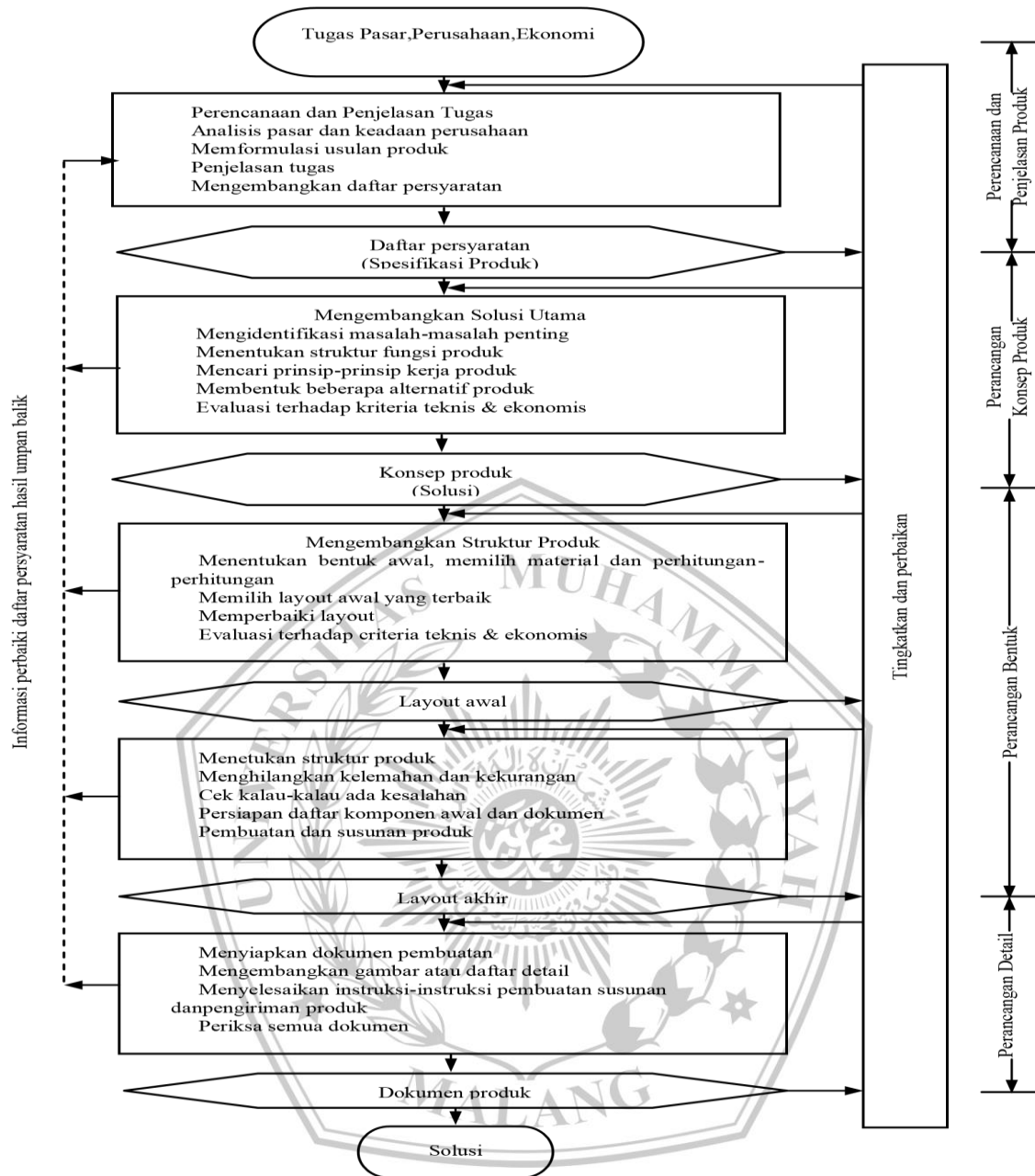
6. Pengujian Alat

Dalam tahap ini penulis menjelaskan mengenai pengujian dan pembahasan tentang performa alat, yang selanjutnya kesimpulannya akan menjadi karakteristik dari alat tersebut.

Metode perancangan Pahl *and* Beitz ini dapat disimpulkan pada gambar

2.11 Dibawah ini :





Gambar 2.11 Diagram alir perancangan menurut Pahl

And Beitz

(Sumber: Riadi, 2009)